Vol.12, No.1, Spring 2023, pp.155-170 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.75342.1178 Open access

Evaluation of ECMWF Center Data in Monitoring and Forecasting Dust Storms in Southwestern Iran (Case Study: Khuzestan Plain)

Hassan HajiMohammadi [a*], Somaye Hajivand Paydari [b]

[a] *PhD Candidate in Climatology, Faculty of Geography, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*
[b] *PhD Candidate in Climatology, Faculty of Geography, Khwarazmi University, Tehran, Iran*

Received: 16 February 2022 ***Revised: 16 March 2022*** ***Accepted: 21 April 2022***

Abstract

In order to investigate dust storms in Khuzestan plain, statistics of 13 synoptic stations in a period of 17 years (2000-2000) were used. One day was chosen as a stormy day when the horizontal visibility of less than 200 to 100 meters was reported in more than 70% of the stations. To analyze the weather conditions, the networked data of the European Center for Medium-Term Forecasting were used. To show the spatial pattern of dust, the AOD values of the MODIS sensor were used. Studies have shown that four spatial patterns in the region cause such conditions. Dust transfer from the north and west of Iraq and eastern Syria as the main centers and dry border areas between Khuzestan province and Iraq are considered as intensifying dust activities. Increased unstable conditions in the lower levels and the existence of a series of atmospheric disturbances that have taken place in a dry manner have caused dust to rise from possible areas and flow into the area. By indexing, the relative fineness parameter of 850 hPs was found to be suitable in identifying possible foci of fine dust. Thus, to predict dust in the region when the wind speed reaches its maximum on the dust centers, it is expected to witness the occurrence of severe dust storms with a delay of 24 to 48 hours in the region. However, the existence of instabilities and the increase of relative equilibrium on the foci have caused the mentioned process to increase and the particles to flow to the region in less than 24 hours.

Keywords: Dust Storm, Relative Fever, Wind Speed, Forecast, Khuzestan Province

* Corresponding author: Hassan HajiMohammadi E-mail: hassan_eghlim@yahoo.com Tel:989376475006

How to cite this Article: HajiMohammadi, H., & Paydari, S. (2023). Evaluation of ECMWF data in monitoring and forecasting dust storms in southwestern Iran (Case study: Khuzestan plain). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *12*(1), 155-170.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.75342.1178

Geography and Environmental Hazards
Volume 12, Issue 1 - Number 45, Spring 2023
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75342.1178

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و پنجم، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۷۰-۱۵۵

مقاله پژوهشی

بررسی داده‌های مرکز ECMWF در پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: جلگه خوزستان)

حسن حاجی محمدی[1]- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی سینوپتیک، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
سمیه حاجی‌وند پایداری- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۲/۱

چکیده

به‌منظور بررسی توفان‌های گردوغبار جلگه خوزستان از آمار ۱۳ ایستگاه سینوپتیک در بازه ۱۷ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۶) استفاده شد. روزی به‌عنوان روز توفانی انتخاب شد که دید افقی کمتر از ۲۰۰ الی ۱۰۰ متر، در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها گزارش‌شده باشد. برای تحلیل شرایط جوی از داده‌های شبکه‌بندی شده مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی اروپا و برای نمایش الگوی فضایی گردوغبار از مقادیر AOD سنجندِ MODIS استفاده گردید. بررسی‌ها نشان دادند که ٤ الگوی فضایی در منطقه سبب رخداد چنین شرایطی می‌شوند. انتقال گردوغبار از کانون‌های شمال و غرب عراق و شرق سوریه به‌عنوان کانون‌های اصلی و مناطق خشک شده مرزی بین استان خوزستان و کشور عراق به‌عنوان تشدیدکننده فعالیت‌های ریزگردها به شمار می‌روند. افزایش شرایط ناپایداری در ترازهای زیرین و وجود یک سری اغتشاشات جوی که به‌صورت بی‌دررو خشک صورت پذیرفته، سبب خیزش گردوغبار از مناطق احتمالی و سرازیر شدن آن به منطقه شده است. با انجام شاخص سازی، پارامتر تاوایی نسبی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال در شناسایی کانون‌های احتمالی ریزگردها مناسب یافت شد. بدین‌صورت که برای پیش‌بینی گردوغبار در منطقه زمانی که سرعت باد به بیشینه خود بر روی کانون‌های ریزگردها می‌رسد، انتظار می‌رود با تأخیری ٢٤ الی ٤٨

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۳۷٦٤۷۵۰۰٦ Email: hassan_eghlim@yahoo.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

حاجی محمدی، حسن؛ پایداری، سمیه؛ ۱٤۰۲. بررسی داده‌های مرکز ECMWF در پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: جلگه خوزستان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۲(۱). صص ۱۷۰-۱۵۵
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75342.1178

ساعته در منطقه شاهد رخداد توفان‌های شدید گردوغبار بود؛ اما وجود ناپایداری‌ها و افزایش تاوایی نسبی بر روی کانون‌ها سبب شده تا فرآیندِ مذکور افزایش‌یافته و در کمتر از ۲٤ ساعت ذرات به منطقه شارش نمایند. درنهایت پیشنهاد می‌شود جهت پایش و پیش‌بینی توفان‌های گردوغباری در منطقه از داده‌های با توان تفکیک بالا استفاده گردد تا بتوان در پیش‌بینی‌ها به یک دقت قابل‌قبول دست‌یافت.

کلیدواژه‌ها: توفان گردوغبار، تاوایی نسبی، سرعت باد، پیش‌بینی، استان خوزستان.

۱- مقدمه

گردوخاک یکی از فراوان‌ترین هواویزهای معلق در جو زمین است (چانگ[1]، ۲۰۰۱). در مقیاس جهانی، گردوخاک معلق در جو زمین عمدتاً ناشی از چشمه‌های طبیعی است (تیگن و همکاران[2]، ۲۰۰٤). سامانه‌های جوی و وضعیت ساختار سطح زمین (ساختار واقعی زمین و ساختاری که براثر دست کاری بشر حاصل شده است) از عوامل مؤثر در رخداد پدیده گردوغبار هستند (رنجبر سعادت‌آبادی، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر، وقوع پدیده گردوغبار در منطقه خاورمیانه در حال افزایش بوده و کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، به‌طور مداوم در معرض سیستم‌های گردوغبار محلی و سینوپتیک متعدد است (راشکی و همکاران، ۲۰۱۳). از طرفی خاورمیانه نیز یکی از پنج منطقه ازنظر تولید گردوغبار در جهان است (رضازاده و همکاران، ۲۰۱۳). توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مخرب هواشناختی بوده که متأثر از عناصر اقلیمی فشار، ابرناکی، بارندگی، رطوبت نسبی، باد، دما و تبخیر است (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷)؛ و همه‌ساله خسارات جبران‌ناپذیری به‌سلامتی انسان، مزارع، تأسیسات عمرانی و صنعتی، خطوط مواصلاتی و مراکز جمعیتی وارد می‌کند. این پدیده متأثر از شرایط خاص جوی است که در صورت شناخت منشأ، سازوکار تکوین، نحوه گسترش و ارتباط آن با الگوهای گردشی اتمسفری، می‌توان تا حدودی از آسیب‌های آن کاست و یا با آن مقابله نمود. دلیل اصلی نگرش‌های اخیر در مورد توفان‌های گردوغبار مربوط به آثار متفاوتی است که این پدیده بر سیستم‌ها و زیرسیستم‌های کره زمین می‌گذارد (گودی و میدلتون[3]، ۲۰۰٦؛ گودی[4]، ۲۰۰۹). از آن جمله می‌توان به اثرات گردوغبار از طریق جذب و پراکنده نمودن انرژی خورشید بر دمای هوا، تشکیل ابر، فعالیت‌های همرفتی، غلظت دی‌اکسید کربن و گوگرد در اتمسفر، چرخه‌های زمین- شیمی و تکامل خاک و بیابان‌زایی تأثیر گذارد (گودی، ۲۰۰۹؛ کنگ و همکاران[5]، ۲۰۱۰؛ آرمیتو[6]، ۲۰۰۱؛

1 Change
2 Tegen et al
3 Goudie and Middleton
4 Goudie
5 Kang et al
6 Arimoto

تون[1]، ۲۰۰۳؛ ونگ و دسلر[2]، ۲۰۰۵؛ ریجول[3]، ۲۰۰۳؛ یانگ و همکاران[4]، ۲۰۰۸). در این میان کشور ایران و به‌خصوص مناطق جنوب غرب کشور بیش‌ازپیش طی سال‌های اخیر با این پدیده دست‌وپنجه نرم کرده‌اند. باوجود چشمه‌های داخلی گردوخاک در ایران، مطالعات نشان داده است که مقدار قابل‌توجهی از گردوخاک واردشده به ایران از مناطق و کشورهای همسایه است (شاهسونی و همکاران، ۲۰۱۲؛ چوبری و همکاران، ۲۰۱۶). درواقع، ایران در پایین‌دست منابع عظیم گردوخاک قرار گرفته است که شامل زمین‌های رسوبی و خشک دجله و فرات و بیابان زبیر در عراق، بیابان سوریه و سه بیابان النفود در شمال غرب، الدهنا در شمال شرق و ربع الخالی در جنوب شرق شبه‌جزیره عربستان می‌شود (علیزاده چوبری و همکاران ۲۰۱۶). در بین این چشمه‌های گردوخاک، مناطق بیابانی عراق و بیابان سوریه ازجمله عمده‌ترین چشمه‌هایی هستند که مقادیر عظیمی از گردوخاک را تحت تأثیر باد شَمال وارد مناطق غرب و جنوب غرب ایران می‌کنند (عبدی ویشکایی و همکاران، ۲۰۱۲).

بررسی روند تغییرات مکانی–زمانی منطقه‌ی غرب ایران طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱٤ با استفاده از تصاویر MODIS نشان داد که بخش جنوب‌غربی ایران شامل استان خوزستان بیشترین مقدار متوسط عمق اپتیکی را طی بازه زمانی داشته است (نامداری و همکاران،۲۰۱٦) بررسی مسیر گرد و غبار به عراق با مدل طوفان‌های گرد و غبار کویر سوریه، صحرای آفریقای شمالی، صحرای آن النفود در عربستان سعودی، زمین‌های خشک در جنوب غربی ترکیه و جنوب غربی ایران منشأ می‌گیرند (عطیه و جونز، ۲۰۲۰) منشأ طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از مدل HYSPLIT در استان اصفهان دو منطقه مرزی بین عراق و سوریه، غرب و جنوب‌غربی عراق، منبع اصلی گرد و غبار منتقل شده به اصفهان هستند (جعفری و همکاران، ۲۰۲۱).

از تحقیقات اخیری که به اثرات توفان‌های گردوغباری شدید در منطقه پرداخته می‌توان به پژوهشی اشاره نمود که در یک مطالعه موردی به پایش و پیش‌بینی توفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی پرداخته‌اند. نتایج نشان دادند ذرات گردوخاک در سقف جو و سطح زمین دارای اثرهای سرمایشی، اما در میانه جو دارای اثر گرمایشی هستند (فرهادی پور و همکاران ١٣٩٦). سبحانی و همکاران (١٣٩٩) به مدل‌سازی آماری و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ایستگاه‌های آبادان، مسجدسلیمان و اهواز بیشترین درصد فراوانی رخداد این پدیده را در سال‌های آتی را خواهند داشت. حجتی(١٤٠٠) به منشاءیابی و ارزیابی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به برخی عناصر سنگین پرداخت. وی دریافت که رسوبات و گردوغبارهای سرازیر شده به شهر اهواز دارای دو کانون بوده که ترکیبی از کانون‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی است.

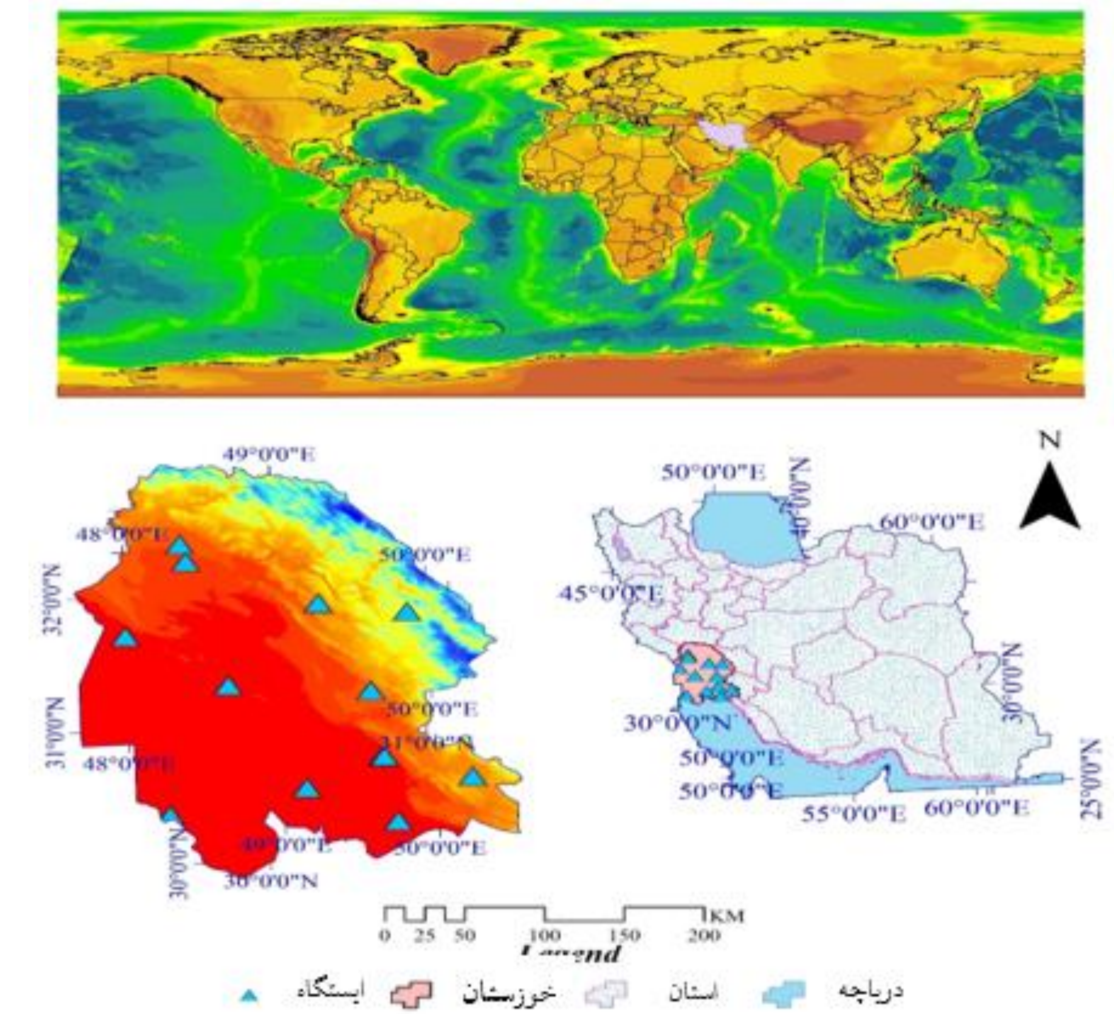
1 Toon
2 Wong and Dessler
3 Ridgwell
4 Yang et al

ازآنجایی‌که جلگه خوزستان بنا به قرارگیری در موقعیت جغرافیای خاص در هم‌جواری با کانون‌های گردوغبار و افزایش چنددرصدی این پدیده هم ازنظر شدت و هم ازنظر فراوانی در منطقه، سبب شده تا به شناسایی کانون‌های اصلی و مهم‌تر پیش‌بینی این پدیده در منطقه بپردازیم.

پژوهش‌های صورت پذیرفته نیز به دنبال کشف کانون‌های اصلی در انتقال گرد و غبار در منطقه بوده اما در این پژوهش سعی بر آن شده تا با استفاده از داده‌های با توان تفکیک بالا مکانیسم جوی و برهمکنش سامانه‌های موجب تولید گردوغبارهای شدید در منطقه شده شناسایی و به تبیین سازوکار جوی آن‌ها در منطقه به‌صورت دقیق‌تر پرداخته شود.

۲- مواد و روش‌ها

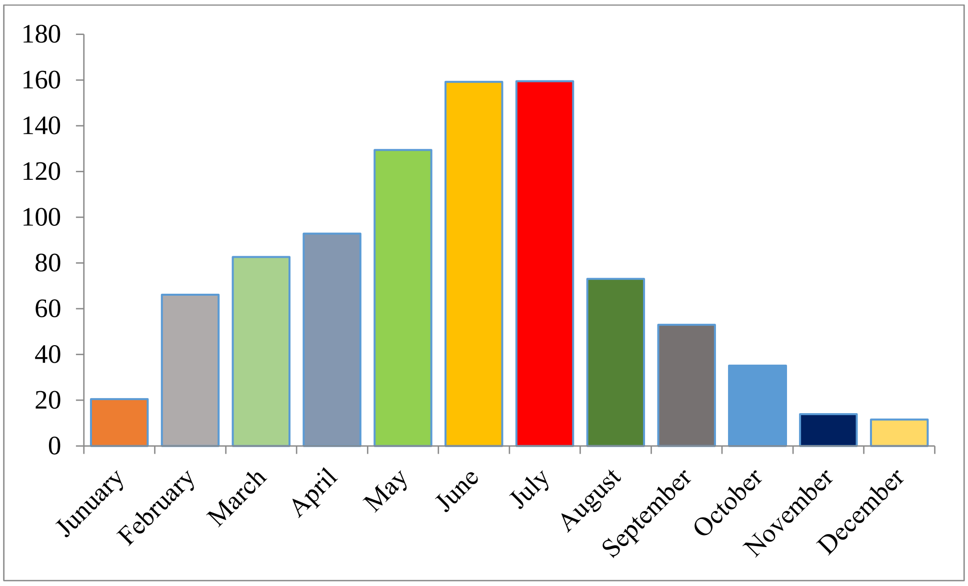
به‌منظور بررسی روزهای گردوغباری در استان خوزستان از داده‌های ۱۳ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۰ میلادی از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ و مورداستفاده قرار گرفت. برای تعیین روزهای غبارآلود از تعریف سازمان هواشناسی جهانی استفاده شد. بر اساس تعریف این سازمان وقوع گردوغبار ازنظر میزان دید افقی به چهار طبقه گردوغبار ضعیف با دید کمتر از ۱۰ کیلومتر، گردوغبار متوسط با دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر، توفان شدید با دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و توفان خیلی شدید با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقسیم‌بندی می‌شود (کاسکاوتیس، ۲۰۰۷). ازآنجایی‌که داده‌های برداشت‌شده در ایستگاه‌های مذکور به‌صورت ۳ ساعته و ۸ بار در روز پایش می‌شوند، ابتدا به‌صورت کلی در تمامی ساعات در بازه زمانی یادشده فراوانی تمامی گردوغبارهای گزارش‌شده از سوی ایستگاه‌های هواشناسی ثبت و در ادامه توفان‌هایی که دید افقی زیر ۲۰۰ و ۱۰۰ متر بوده و به‌صورت فراگیر در بیش از ۷۰ درصد ایستگاه‌ها گزارش‌شده بود طبقه‌بندی شدند. در ادامه به‌منظور شناسایی الگوهای غالب در رخداد این شرایط از داده‌های عمق اپتیکی آئروسل (AOD) سنجنده MODIS استفاده و به‌صورت الگوی فضایی کانون‌های انتشار و گستره مکانی آن استفاده گردید. ازآنجایی‌که هدف اصلی این تحقیق پیش‌بینی و پایش گردوغبارهای شدید منطقه بود، با مراجعه به وب‌سایت مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت جو اروپا (ECMWF)(دی و همکاران، ۲۰۱۱) و با دریافت داده‌های شبکه‌بندی شده با توان تفکیک ۰.۱۲۵ درجه جغرافیای (تقریباً ۱۲ کیلومتر) سعی بر آن شده تا الگوریتمی طراحی گردد تا با استفاده از شاخص‌سازی به پیش‌بینی گردوغبار در منطقه پرداخته شده و از سویی عوامل اصلی رخداد این پدیده در انتشار از کانون‌های اصلی آن مشخص شوند. برای این منظور مقادیر سرعت باد در ترازهای زیرین تروپوسفر (تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) و تاوایی نسبی برای تراز فوق‌الذکر محاسبه و با مقادیر AOD منطقه‌ای همبستگی زمانی-مکانی گرفته شد تا هم‌مقدار اثرگذاری هریک از این پارامترها در رخداد گردوغبار منطقه مشخص گردد و اینکه نقش کدام‌یک در انتقال گردوغبار از مناطق احتمالی پررنگ‌تر بوده تا بر اساس آن بتوان یک الگوی پیش‌آگاهی برای رخداد این پدیده در منطقه داده شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیای منطقه موردمطالعه (نگارندگان،۱٤۰۰)

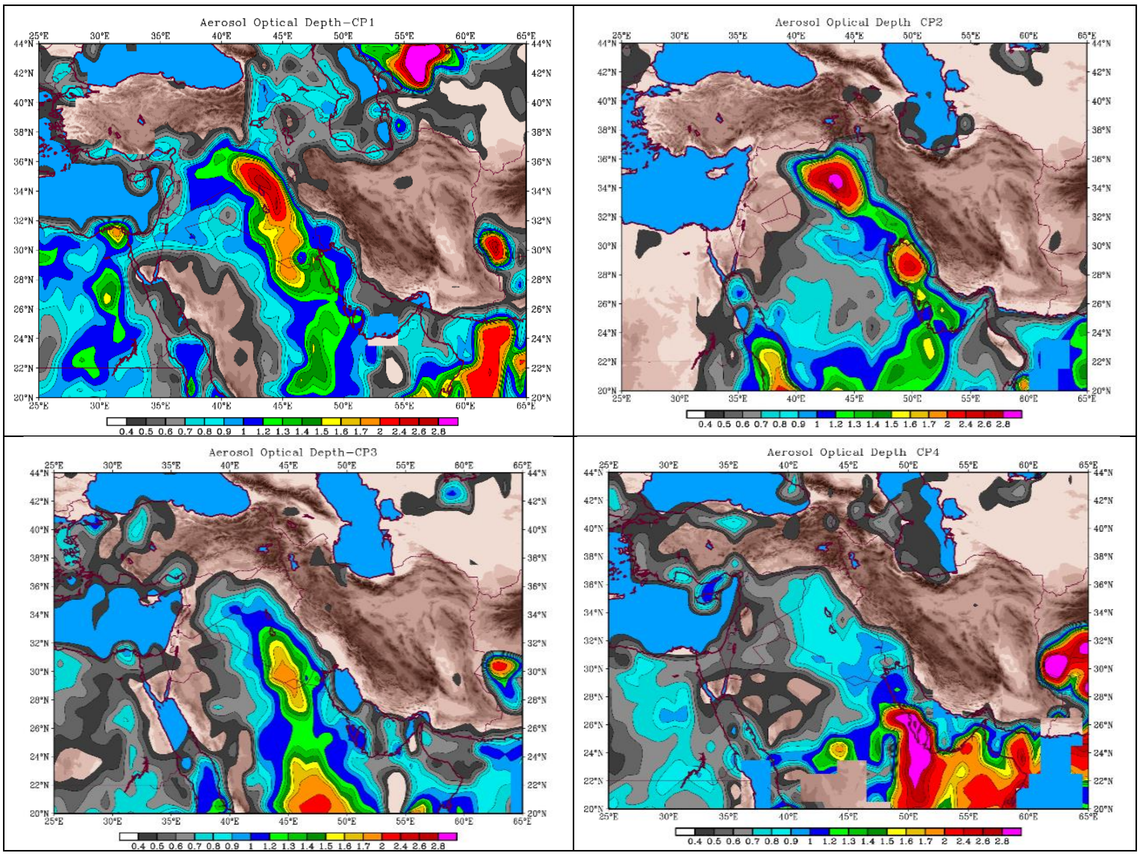
۳- نتایج و بحث

در بررسی‌های نخست که در ۱۳ ایستگاه واقع در منطقه صورت پذیرفت، نشان دادند که فصل گرم بیشترین تعداد رخداد گردوغبار در منطقه را به خود اختصاص داده است. در این میان ماه‌های جون (خرداد) و جولای (تیر) حداکثر تعداد فراوانی رخداد این پدیده در منطقه به‌حساب می‌آید. روند روزهای غبارآلود جلگه خوزستان به گونه است که از اواسط زمستان این پدیده در منطقه شروع و با سیری صعودی در فصل گرم به حداکثر خود رسیده و ناگهان در اواسط تابستان کاهش چشمگیری داشته و در فصل پاییز بیش‌ازپیش فروکش کرده است (شکل ۲).



شکل ۲- فروانی تعداد روزهای غبارآلود در جلگه خوزستان بر اساس داده‌های ایستگاهی (نگارندگان،۱٤۰۰)

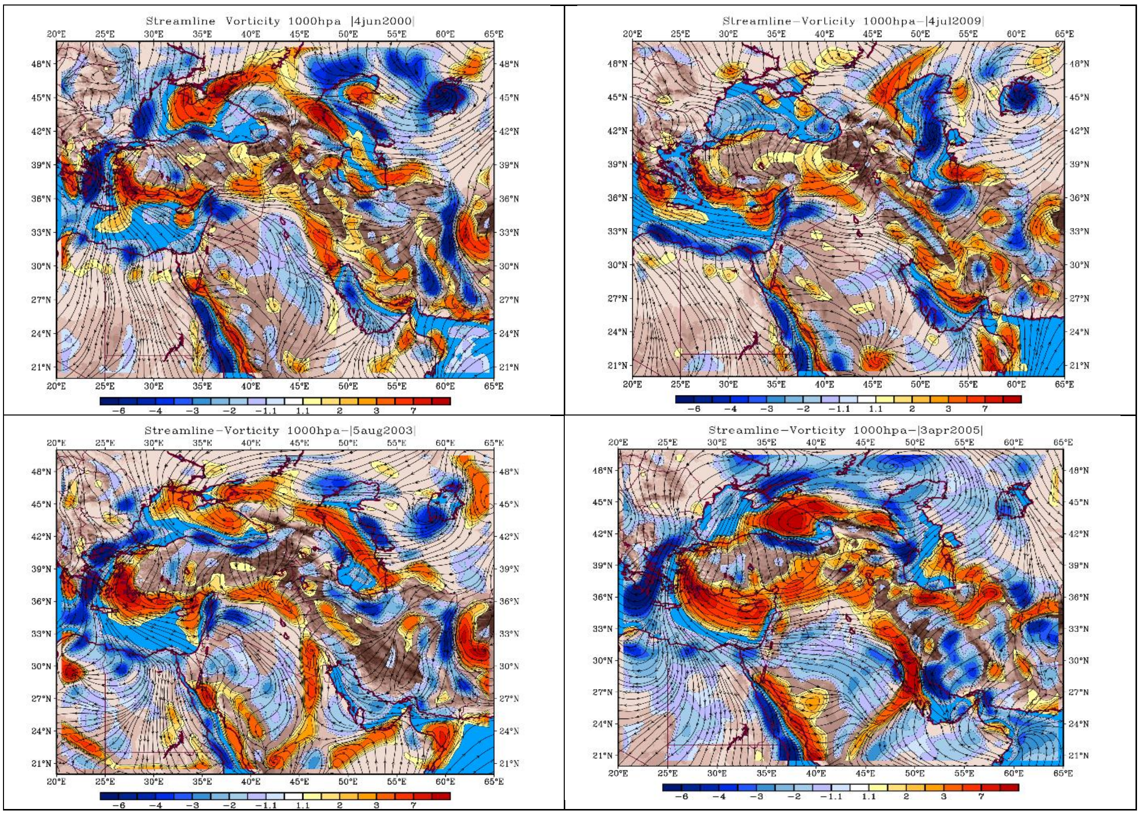
پس از بررسی‌های به‌عمل‌آمده و شناسایی دوره‌های گردوغباری سعی بر آن شد تا شدیدترین دوره‌های گردوغباری که دید افقی به کمتر از ۲۰۰ الی ۱۰۰ متر در منطقه رسیده تفکیک (۷۰ روز انتخاب‌شده) و به شرایط هواشناختی آن پرداخته شود. به همین منظور و برای درک عمیق‌تر این وضعیت ابتدا تحلیلی از الگوی فضایی گردوغبارهای شدید منطقه صورت پذیرفت که طی آن از روش تحلیل همدیدی «دستی (Subjective)» جهت نمایش و پردازش داده‌های شبکه‌بندی و تحلیل وضعیت جوی حاکم استفاده گردید. نتایج نشان دادند ٤ الگو در رخداد این نوع توفان‌های گردوغباری در منطقه حاکمیت دارند. بر همین اساس متوسط الگوی فضایی عمق اپتیکی آئروسل هریک از الگوها تهیه شد (شکل ۳). با توجه به نقشه‌های تهیه‌شده در الگوی نخست هسته اصلی گردوغبار منطبق بر شمال عراق است که با الگویی شمالی شرقی–جنوب غربی تا شمال عربستان را در برگرفته است. لازم به توضیح بوده که هسته دیگری در قلب شبه‌جزیره عربستان نیز تشکیل‌شده است. در الگوی دوم هسته بیشینه گردوغبار منطبق بر شمال مناطق مرکزی عراق بوده که با ورود به جنوب غرب ایران و جلگه خوزستان تقویت‌شده است. از طرفی با انتقال گردوغبار از روی عربستان به جنوب ایران هسته بیشینه دیگری نیز بر روی خلیج‌فارس به وجود آمده است. الگوی سوم کانون اصلی گردوغبارها را در جنوب عراق و جنوب عربستان نشان می‌دهد. در الگوی چهارم یک هسته کوچک بیشینه در نوار مرزی بین استان خوزستان و کشور عراق مشاهده‌شده و دو هسته مجزا دیگری یکی در مرکز و دیگری در شرق عربستان مشاهده می‌شود که با جریانی جنوبی به منطقه منتقل می‌شوند.



شکل ۳- مقادیر AOD برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان،۱۴۰۰)

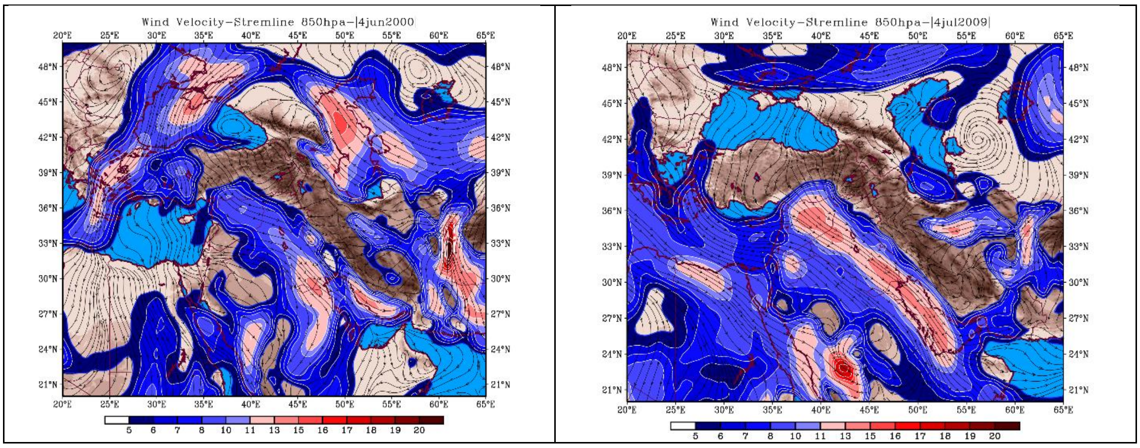
پس از بررسی‌های کلی سعی بر آن شده تا برای هر الگو یک روز به‌عنوان نماینده تعیین و تحلیل جزئی‌تر بر روی آن صورت پذیرد. برای الگوی نخست ٤ جون ۲۰۰۰ انتخاب گردید. در ابتدا شرایط جریان باد تاوایی در شرایط سطحی بررسی گردید. در این بررسی وجود یک جریان غربی بر روی عراق که در جنوب آن تغییر مسیر داده و یک جریان تقریباً شمالی شده و طی این شرایط یک هسته تاوایی مثبت در شمال عراق و یک‌رشته تاوایی مثبت بر روی جنوب غرب ایران تشکیل‌شده است. از سویی هسته چرخندگی منفی شمال عربستان نیز جریان باد شمالی را تقویت نموده است. روز نماینده الگوی دوم ٤ جولای ۲۰۰۹ است. در این روز جریان غربی از سمت مدیترانه به نواحی غربی ایران روانه شده که بر روی عراق به‌صورت موجی شکل شده و یک‌رشته جدا از آن به سمت جنوب غرب کشور منتقل شده است. وجود بیشینه تاوایی بر روی جنوب ترکیه و شمال عراق و از طرفی نزول هوا بر روی زاگرس غربی سبب شده تا یک جریان همگرا در منطقه به وقوع بپیوندد. این همگرایی با افزایش تاوایی نسبی بر روی جلگه خوزستان نیز همراه است که تا تنگه هرمز ادامه دارد. در الگوی سوم که روز نماینده آن ۵ آگوست ۲۰۰۳

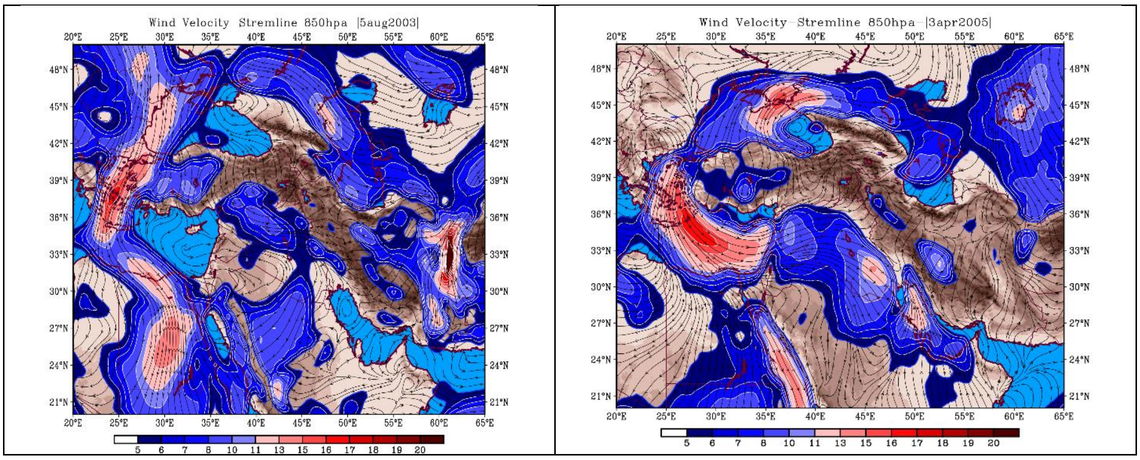
است، وجود جریان تاوایی منفی بر روی دامنه‌های جنوب البرز و حرکت غرب سوی هوا به مناطق داخلی خاورمیانه و از طرفی وجود یک جریان شمالی نشئت گرفته از دریای سیاه و جفت شدن آن با جریان جداشده از مدیترانه و همگرایی این سه بسته هوا بر روی سوریه، ترکیه و عراق شرایط ناپایداری را به وجود آورده‌اند. این ناپایداری به‌صورت نواری تا جنوب عربستان ادامه داشته به‌گونه‌ای که با حاکمیت جریان ساعت‌گردی بر روی خلیج‌فارس جریانی جنوب جلگه خوزستان را درنوردیده و در قطاع غربی این جریان همگرایی بین هسته تاوایی مثبت صورت پذیرفته است. در روز ۳ آوریل ۲۰۰۵ با تشکیل و تقویت پرفشار واقع بر روی شمال دریای عرب و انتقال جریان هوا در ضلع غربی آن به عرض‌های بالاتر و همگرا شدن دو توده‌هوای واقع در منطقه یکی بر روی دریای سرخ و دیگری شمال غرب عربستان ناپایداری شدیدی را در منطقه رقم‌زده و با گذر از روی خلیج‌فارس تا غرب ایران را در برگرفته است. از سویی با هجوم جریان غربی از روی دریای مدیترانه ناپایداری در مرزهای غربی افزایش‌یافته است. همان‌گونه که مشاهده شد طی افزایش تاوایی مثبت در منطقه و وقوع بیشینه گردوغبار در منطقه انطباق وجود دارد (شکل ٤).



شکل ٤- الگوی فضایی تاوایی و جهت باد تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان،۱٤۰۰)

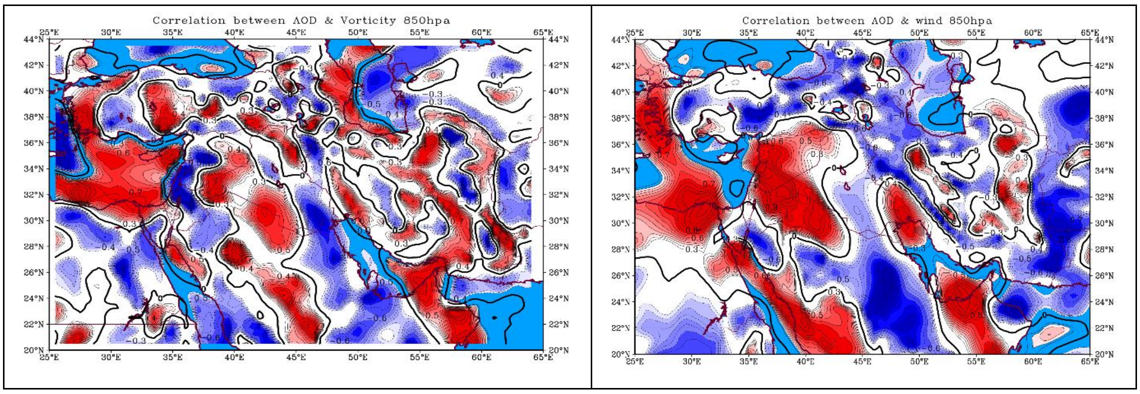
در بررسی وضعیت سرعت باد در الگوی نخست از شمال سوریه شروع و تا جنوب‌غرب ایران ادامه داشته و پس از انحنا بر روی کویت در مرز عربستان به بیشینه خود رسیده است. از طرفی وجود یک هسته بیشینه سرعت معادل ۱۳ متر بر ثانیه در مرزهای عراق و ایلام و حاکمیت جریان شمالی سبب شده تا شارش جرم به جلگه خوزستان صورت پذیرد. در الگوی دوم سرعت باد به بیش از ۱۳ متر بر ثانیه رسیده که با جهتی شمال غرب–جنوب غرب شروع به وزیدن کرده و دارای دو هسته بیشینه یکی بر روی سوریه و غرب عراق و دیگری بر روی نواحی جنوبی عراق که تا جنوب خلیج‌فارس ادامه دارد. در الگوی سوم کانون اصلی سرعت بر روی مناطق جنوبی ترکیه، شرق سوریه و غرب عراق است. از طرفی با وزش جریان به منطقه و نزدیک شدن به مناطق مرزی هسته دیگری اما محدود در شمال جلگه خوزستان تشکیل‌شده که متوسط سرعت آن ۸ الی ۱۰ متر بر ثانیه است. با تقویت جریانات در منطقه و انتقال گردوغبار از مناطقی همچون سوریه و عراق و تشدید آن در مناطق مرزی استان خوزستان سبب شده تا چشمه‌های احتمالی گردوغبار که به‌صورت محلی بوده فعال گشته شرایط را بیش‌ازپیش بحرانی‌تر نماید. در الگوی چهارم دو هسته بیشینه سرعت یکی بر روی مناطق جنوب شرقی عراق که با جریانی نسبتاً غربی همراه شده و دیگری بر روی غرب خلیج‌فارس که با جریانی جنوبی در مناطق جنوب استان همگرا شده و این همگرایی سبب انباشت گردوغبار و ماندگاری آن در منطقه شده است (شکل ۵).





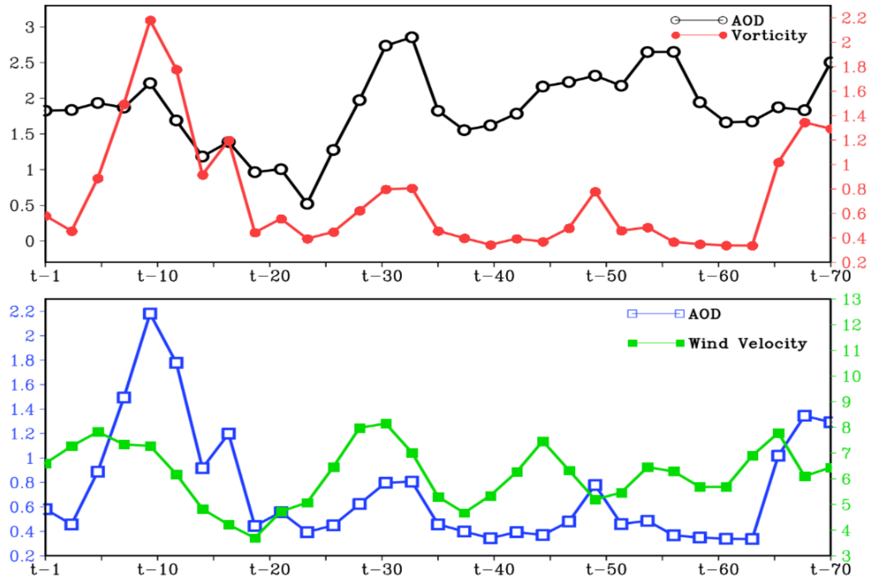
شکل ٥- الگوی فضایی سرعت و جهت باد تراز ۸٥۰ هکتوپاسکال برای هر یک از الگوهای غالب هواشناختی در منطقه در زمان رخداد گردوغبارهای شدید (نگارندگان،۱٤۰۰)

با بررسی‌های به‌عمل‌آمده تا این مرحله نشان دادند ازآنجایی‌که کانون‌های انتشار گردوغبار در منطقه خاورمیانه با تقویت سرعت باد و افزایش چرخندگی مثبت رفتاری مثبت از خود نشان داده وتوام با افزایش گردوغبار در منطقه هستند، سعی شد این همبستگی به‌صورت شاخصی شده و به یک مدل عددی تبدیل گردد. سعی شد تا بین مقادیر AOD جلگه خوزستان و تاوایی نسبی و سرعت باد تراز ۸٥۰ هکتوپاسکال کانون‌های گردوغبار همبستگی زمانی-مکانی تهیه شود تا رفتار هریک از شاخص‌ها و سهم آن در تولید و انتقال گردوغبار مشخص شود. نتایج نشان دادند که افزایش سرعت باد بر روی کانون‌های موجود بر روی سوریه، فلسطین، جنوب ترکیه، شمال غرب-جنوب غرب و شرق عربستان با گردوغبار استان خوزستان همبستگی مثبت بیش از ۰.۸ را نشان دهد. از طرفی مقادیر تاوایی تراز ۸٥۰ هکتوپاسکال نیز به‌صورت جزئی‌تر و محلی‌تر قسمت‌هایی از جنوب ترکیه تا شمال و شمال شرق عراق، شرق سوریه و غرب عراق، مرز جنوبی مشترک عراق با عربستان، قسمت‌های مرکزی عربستان و عمان و قسمت‌هایی از تنگه هرمز همبستگی بالایی را با گردوغبارهای شدید منطقه داشته باشد. لازم به توضیح است که در این همبستگی زمانی-مکانی مناطق دیگری نیز با گردوغبار محل موردنظر همبستگی‌های مثبتی نشان داده‌اند اما به دلیل حاکمیت بیشینه جریان باد غربی، شمال غربی و جنوبی در منطقه حداکثر رفتارها از کانون‌های یادشده به نظر می‌رسد (شکل ٦).



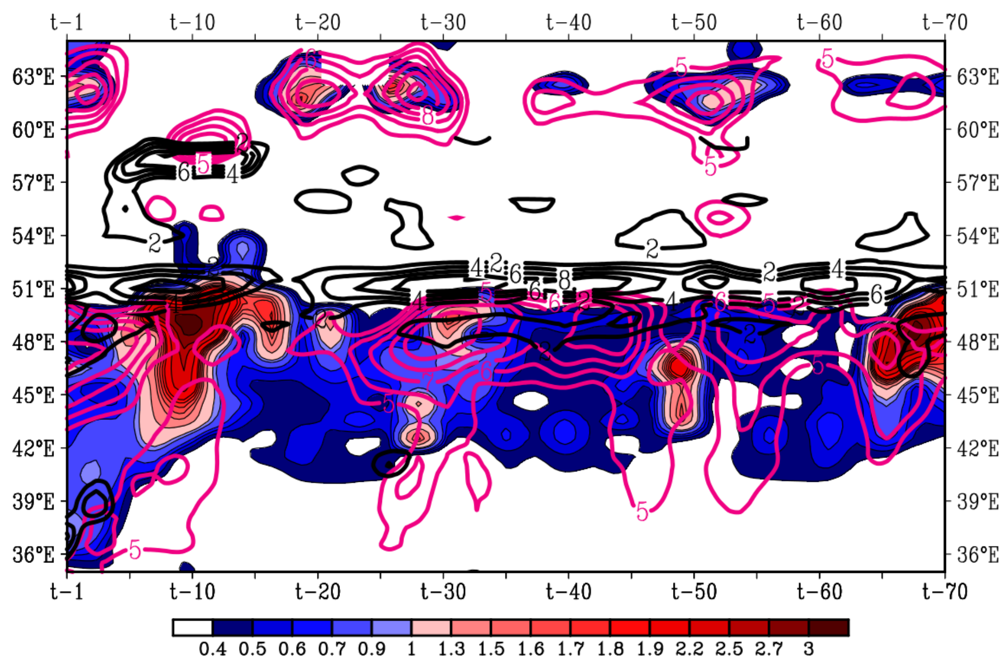
شکل ٦- همبستگی بین مقادیر AOD جلگه خوزستان با تاوایی (سمت چپ) و سرعت باد (سمت راست) تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگارندگان،۱٤۰۰)

در نمودار هافمولر تهیه‌شده که مقادیر AOD و تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به نمایش درآمده نشان می‌دهد که در منطقه با افزایش تاوایی مثبت و به همراه آن وجود ناپایداری در ترازهای زیرین به‌محض شروع چنین فرآیندی، گردوغبار در منطقه شروع و غلظت آن به‌شدت افزایش می‌یابد؛ اما در بررسی شرایط سرعت باد و مقادیر گردوغبار منطقه‌ای نشان داده شد که با تأخیر زمان اوج سرعت گردوغبار بین یک الی دو روز در منطقه غلظت آلاینده‌های جوی افزایش می‌یابد. به‌گونه‌ای که با توجه به نمودار گاه می‌توان چنین استنباط کرد که وجود ناپایداری‌ها و حاکمیت جریان چرخندی در منطقه بیش از افزایش سرعت باد در تشدید توفان‌های گردوغبار در منطقه دخیل هستند (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار هافمولر تغییرات AOD و تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (نگارندگان،۱٤۰۰)

در نمودار هافمولر دیگری سعی شد تا تغییرات سه پارامتر تاوایی و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و عمق اپتیکی هواویزها در طی زمان و بر روی طول‌های جغرافیایی بررسی گردد. در این نمودار خطوط مشکی تاوایی نسبی، خطوط صورتی سرعت باد و مقادیر رنگی AOD است. بررسی‌ها نشان دادند که طی این هفتاد روز بیشینه گردوغبارها مابین طول‌های ٤٨ تا ٥١ درجه شرقی به وقوع پیوسته است. نکته اصلی در تهیه این نمودار این بود که نشان داده شود لزوم وجود تاوایی مثبت در منطقه از نکات اصلی در رخداد این پدیده در منطقه است. وجود این شرط در بیش از ۹۰ درصد دوره‌های گردوغباری شدید در منطقه از نکات قابل‌توجه است. همان‌طور که در نمودار مشخص است وجود بیشینه سرعت باد نیز در رخداد این پدیده سهم عمده‌ای را دارد اما این وضعیت هم با شیفتی غرب سو (انطباق حداکثر سرعت باد در مرزهای خارج از منطقه موردمطالعه) و تأخیر در زمان اوج از شرایط حاضر در منطقه است (شکل ۸).



شکل ۸- نمودار هافمولر x-t برای عرض ۳۰ درجه شمالی برای نمایش وضعیت تاوایی (خطوط مشکی) و سرعت باد تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال (خطوط صورتی) و مقادیر AOD(رنگی) (نگارندگان،١٤٠٠)

٤- جمع‌بندی

امروزه توفان‌های گردوغباری یکی از مخاطرات محیطی محسوب می‌گردند که آسایش ساکنین کره زمین را به‌ویژه در مناطق خشک و کم بارش کاهش داده و به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم بخش گسترده‌ای از جامعه بشری را از خود

متأثر می‌سازند. ساختار گردشی ویژه در منطقه و در ترکیب با ویژگی‌های پوشش سطحی و آبرفت‌های ریزدانه فراوانی که در داخل کشور و کشورهای همسایه وجود دارد، منطقه خاورمیانه و ایران را به یکی از مهم‌ترین مناطق وقوع توفان‌های گردوغباری در دنیا مبدل ساخته است (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۰).

طی بررسی‌های به‌عمل‌آمده نتایجی بدین شرح به دست آمد:

در بررسی الگوهای غالب در زمان رخداد توفان‌های شدید گردوغباری در جلگه خوزستان ٤ الگو شناسایی شد که برخی از این الگوها از منظر انتقال گردوغبار نسبت به سایرین بسیار قوی‌تر بوده به‌مانند الگوی دوم و برخی ضعیف‌تر بوده که می‌توان به الگوی چهارم اشاره نمود. در الگوهای یک، دو و چهار پس از ورود گردوغبار به منطقه جنوب غرب ایران گاه بر روی مناطق مرزی با عراق این پدیده تشدید شده و هسته مجزا اما محلی را در منطقه به وجود می‌آورد.

وقوع این پدیده در منطقه بیش‌ازپیش در ترازهای زیرین تقویت‌شده و عمده تحولات آن در افزایش چرخندگی مثبت و افزایش سرعت باد است. وجود جریانات شمالی که عنوان باد شمال (مفیدی و همکاران، ۱۳۹۰)، جریانات غربی که از روی مدیترانه نشئت گرفته و با عبور از سوریه و مناطق غربی عراق منطقه را متأثر می‌سازد و یا جریانات زوجی که به‌صورت همگرایی و شارش بر روی جلگه خوزستان صورت گرفته که حاصلی از ترکیب جریان جنوبی و جریان غربی در منطقه است.

در بررسی سهم هریک از پارامترهای سرعت باد و تاوایی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال مشخص شد که سرعت باد به دو صورت عمل کرده یکی اینکه به‌صورت کلی جریانات بر خواسته از کانون‌ها را مشخص می‌نماید و دیگری اینکه همیشه با افزایش سرعت باد همه کانون‌های شناسایی‌شده در منطقه تحریک نمی‌شوند؛ اما با بررسی و ارزیابی تاوایی نسبی در شناسایی کانون‌ها و اثرگذاری آن این نتیجه به دست آمد که این شاخص می‌تواند هم به‌صورت دقیق‌تر مناطق کانون احتمالی را شناسایی نماید و ضمن اینکه مناطق محتمل شناسایی‌شده با سرعت باد را در برمی‌گیرد، در تفکیک نواحی خیزش گردوغبار دقت بالاتری را می‌توان به دست آورد.

از وضعیت جوی برای شرایط پیش‌بینی نیز می‌توان بدین نکته اشاره نمود که صرفاً افزایش سرعت بادبر روی کانون‌های احتمالی در رخداد توفان‌های گردوغباری منطقه نقش نداشته بلکه افزایش ناپایداری‌ها سبب خیزش ذرات ریز و انتقال آن به منطقه می‌شود. بدین‌صورت که به‌منظور پیش‌بینی توفان‌های شدید گردوغباری در جلگه خوزستان با تأخیری ٢٤ الی ٤٨ ساعته از زمان بیشینه وزش باد، این منطقه توفان گردوغبار را تجربه می‌نملید؛ اما در زمان افزایش تاوایی نسبی و وجود جریانات بالاسو این مقدار کاهش‌یافته و در کمتر از ٢٤ ساعت ذرات به منطقه شارش می‌یابند.

نتایج حاصـل از داده‌های ۱۲ کیلومتر مرکز پیش‌بینی میان‌مدت اروپا نشـان داد که شـناسـایی کانون‌ها و برهمکنش سامانه‌های جوی در انتقال گردوغبار به جلگه خوزستان درعین‌حال که متأثر از گردش جو منطقه بوده، یک مکانیسـم میان‌مقیاس است که در اغلب پژوهش‌ها بدان توجهی نشده است. پیشنهاد می‌گردد تا به‌منظور بررسی‌های دقیق‌تر از مدل‌های میان‌مقیاس استفاده شود تا بتوان در راستای پیش‌بینی‌های دقیق‌تر با درصد خطای کمتری روبرو شویم.

بررسـی نتایج سـایر تحقیقات نیز نشـان داد جعفری و مفیدی (۱۳۹۰) که به‌طورکلی منابع اصـلی گردوغبار برای توفان‌های جنوبغرب ایران منطقه‌ای واقع در حدفاصل مرکز – شمال عراق تا غرب سوریه و تا شمال عربستان است. صـفری و همکاران (۱۳۹۲) نیز در بررسـی کانون‌ها منطقه مرزی بین سـوریه و عراق، غرب و جنوب غرب عراق، منطقه شمال شرق و شمال عربستان به‌عنوان منابع اصلی غبار جنوب غرب ایران شناسایی شدند که یک مسیر شمال غرب – جنوب شـرق برای دوره گرم و همچنین یک مسـیر جنوب غرب – شـمال شـرق برای دوره سـرد را طی می‌کنند.

کتابنامه

حجتی، سعید؛ ۱٤۰۰. منشاءیابی و ارزیابی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به برخی عناصر سنگین. *مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)*. جلد ٤٤. شماره ۱. بهار ۱٤۰۰.
HTTPS://DORL.NET/DOR/۲۰/۱۰۰۱/۱/۲۵۸۸۵۲۶/۱۴۰۰/۴۴/۱/۱/۸

رنجبر سعادت‌آبادی، عباس؛ میهن‌پرست، مجتبی؛ نوری، فائزه؛ ۱۳۹۵. بررسی پدیده گردوغبار در غرب ایران از دیدگاه هواشناختی (مطالعه بلندمدت و کوتاه‌مدت). *مجله علمی و ترویجی نیوار*. دوره ٤۰. شماره ۹۲-۹۳. صص ٦٦-٥۳
https://doi.org/۱۰/۳۰۴۶۷/nivar.۲۰۱۶/۴۰۸۰۷.

سبحانی، بهروز؛ صفریان زنگیر، وحید؛ فیض‌الهزاده، سینا؛ ۱۳۹۹. مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دورۀ ۲۵. شمارۀ ۱. بهار ۱۳۹۹. صص ۳۵-۱۷.
https://www.sid.ir/paper/۳۷۷٦٥۱/fa

صفری، اعظم؛ دوستان، رضا؛ مفیدی، عباس؛ ۱۳۹۲. *شناسایی منابع غبار توفان‌های گردوغباری جنوب غرب ایران*. وزارت علوم. تحقیقات و فناوری – دانشگاه فردوسی مشهد – دانشکده ادبیات و علوم انسانی دکتر علی شریعتی – ۱۳۹۲ – [کارشناسی ارشد].
https://elmnet.ir/Article/۱٥۱۳۳-۱۰٦۳٦۰۱٦

فرهادی پور، سعید، آزادی، مجید، علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی، علیزاده چوبری، امید، سیاری، حبیب‌الله؛ ۱۳۹٦. توفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی: مطالعه موردی. *مجله ژئوفیزیک ایران*. جلد ۱۱ شماره (۳). صص ۸۹-۷٥. ۸۹-۳.۷٥.
https://dorl.net/dor/۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۰۰۸۰۳۳٦,۱۳۹٦,۱۱,۳,٦,۲

لشکری، حسن؛ کیخسروی قاسم؛ ۱۳۸۷. تحلیل آماری سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۳، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. دوره ۴۰. شماره ۶۵. صص ۳۳–۱۷.
https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/۴۴۹۷۹۵/text/

مفیدی، عباس؛ جعفری، سجاد؛ ۱۳۹۰. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های گردوغباری تابستانه در جنوب غرب ایران. *نشریه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. دوره ۲. شماره ۵. صص ۴۵–۱۷. بررسی نقش گردش منطقه‌ای جو بر روی خاورمیانه در وقوع توفان‌های (hsu.ac.ir)

Abdi Vishkaee, F., Flamant, C., Cuesta, J., Oolman, L., Flamant, P., and Khalesifard, H. R., 2012. Dust transport over Iraq and northwest Iran associated with winter Shamal: A case study: Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117(D3). **117**, D03201. http://dx.doi.org/10.1029/2011JD016339

Alizadeh-Choobari, O., Ghafarian, P., and Owlad,E., 2016. Temporal variations in the frequency and concentration of dust events over Iran based on surface observations: International Journal of Climatology, **36**(4), 1575–2138. http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۰۲/joc.٤٤٧٩

Arimoto, R., 2001. Eolian dust and climate, Relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. Journal of Earth Sci. Rev.: 54, PP 29–42. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/S۸۲٥۲-۰۰۱۲(۰۱)۰۰۰٤۰-X

Attiya A, and Brian G., 2020. Assessment of mineralogical and chemical properties of airborne dust in Iraq, SN Applied Sciences, 2, PP. 1-21. https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-020-03326-5#citeas

Change, C., 2001. "The Scientific Basis. Intergovernmenta on Climate Change". by JT Houghton, Y. Ding, D. J Griggs, et al. Cambridge Univ. Press. Cambridge.(20) (PDF) Climate Change 2001: The Scientific Basis (researchgate.net)

Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., ... & Vitart, F., 2011. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. Quarterly Journal of the royal meteorological society, 137(656), 553-597. https://doi.org/10.1002/qj.828

Farhadipour, S., Azadi, M., Aliakbari Bidokhti, A., Alizadeh Choobari, O., & Sayari, H. A., 2017. Dust storms in west and southwest Iran and their impact on radiation fluxes: A case study. Iranian Journal of Geophysics, 11(3), 75-89. https://dorl.net/dor/۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۰۰۸۰۳۳٦,۱۳۹٦,۱۱,۳,٦,۲

Goudie, A.S., 2009. Dust storms: Recent developments. Journal of Environmental Management: 90; pp 89–94. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jenvman.۲۰۰۸,۰۷,۰۰۷

Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. Journal of Earth Sci. Rev.: 56; pp 179–204. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8

Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2006. Desert Dust in the Global System. Springer, Heidelberg.

Jafari M, Mesbahzadeh T, Masoudi R, Zehtabian G, Torkmahalleh MA., 2021. Dust storm surveying and detection using remote sensing data, wind tracing and atmospheric thermodynamic conditions (case study: Isfahan Province, Iran), Air Quality Atmosphere & Health:pp. 1-11. http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۰۷/s۰۱۰۲۱-۰۲۱-۱۱۸٦۹-x

Kang, S., Zhang, Y., Zhang, Y., Grigholm, B., Kaspari, S., Qin, D., Ren, J., & Mayewski, P., 2010), Variability of atmospheric dust loading over the central Tibetan Plateau based on ice core glaciochemistry. Journal of Atmospheric Environment: 44; pp 2980- 2989. https://journals.ui.ac.ir/article_۱۸٥٤۲_۹۷۲۰c۲۸abda٥ef۳۹۹۱e۳be۰۳٤۸۱d۷e٥۰.pdf

Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., 2007. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. Atmos. Environ. 41, 7315–7329. https://doi.org/۱۰,۱۰۱۶/j.atmosenv.۲۰۰۷,۰۵,۰۱۷

Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., 2007. Aerosol climatology and discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/rs۸۰۵۰۳۹٤

Namdari S, Valizade K, Rasuly A, Sari Sarraf B., 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran, Arabian Journal of Geosciences, 9: 191. http://dx.doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7

Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S.Kahn., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran, Science of the total environment. 552-564. https://dx.doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.scitotenv.۲۰۱۳,۰٦,۰٤٥

Rezazadeh, M., Irannejad, P., Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East dust events,Aeolian Research, 103-109. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.04.001

Ridgwell, A.J., 2003. Implications of the glacial CO2 'iron hypothesis' for quaternary climate change. Geochem. Geophys. Geosyst. 4 article 1076. http://dx.doi.org/10.1029/2003GC000563

Shahsavani, A., Naddafi, K., Haghighifard, N. J., Mesdaghinia, A., Yunesian, M., Nabizadeh, R., and Saki, H., 2012. The evaluation of PM 10, PM 2.5, and PM 1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from April through September)2010): Journal of Arid Environments, **77**, 72-83. http://dx.doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.jaridenv.۲۰۱۱,۰۹,۰۰۷

Tegen, I., Werner, M., Harrison, S., and Kohfeld, K., 2004. Relative importance of climate and land use in determining present and future global soil dust emission: Geophysical Research Letters, 31, L05105. https://doi.org/۲۰۰۳/۱۰,۱۰۲۹GL۰۱۹۲۱٦

Toon, O.B., 2003), African dust in Florida clouds. Journal of Nature: 424, pp 623– 624. https://doi.org/10.1038/424623a

Wong, S., Dessler, A.E., 2005. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer. Geophys. Res. Lett. 32, DOI: 10.1029/ 2004GL022295. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer - Wong - 2005 - Geophysical Research Letters - Wiley Online Library

Yang, X., Zhu, B., Wang, X., Li, C., Zhou, Z., Chen, J., ... & Lu, Y., 2008. Late Quaternary environmental changes and organic carbon density in the Hunshandake Sandy land, eastern Inner Mongolia, China. Global Planet. Change: 61, pp 70–78. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.017

Yang, X., Zhu, B., Wang, X., Li, C., Zhou, Z., Chen, J., Wang, X., Yin, J., Lu, Y., 2008.